

中能重离子反应靶余核研究与新核素合成*

张 立

(中国科学院近代物理研究所)

摘要: 本文综述了从中能重离子反应靶余核中搜索新核素工作的历史和现状。探讨立足于我国新建成的中能重离子加速器及附设的在线同位素分离器和快化学终端在靶余核中合成新的远离 β 稳定线核素的可能性。提出采用厚靶, 发展特殊靶技术, 加速 ^{18}O 、 ^{22}Ne 、 ^{40}Ar 、 ^{86}Kr 等丰中子炮弹, 通过非完全熔合的蒸发余核及发生在入射道高角动量部分的冷转移及直接电荷交换过程合成重核区新丰中子核素、一部分缺中子核和某些超铀核的设想。

一、为什么我们选择了从 中能重离子反应靶余核中 寻找新核素这条路线?

自中能重离子加速器问世以来, 短短十余年间, 已在新的远离 β 稳定线核素的合成、核谱学、核结构以及奇异衰变方式研究方面取得了令人瞩目的成就。

以法国 GANIL 中能重离子加速器为例, 他们以一台称之为 LIZE 的双消色差离子分析装置, 置于正对束流的零度方向, 与 ΔE 、 E 加飞行时间测量的粒子鉴别手段相配合, 已从投弹碎裂产物中鉴别出一大批轻质量区新核素⁽¹⁾。在缺中子方向已伸展到 $Z \leq 20$ 及 $Z = 23, 25, 29$ 的质子滴线; 丰中子一边到了 $Z \leq 7$ 及 $Z = 9$ 的中子滴线。他们以高效高分辨磁谱仪 SPEG 和飞行时间测量相配合对这些核的质量做了系统测量⁽²⁾。初步研究已发现, 丰中子滴线核如 ^{11}Li 有反常大核半径, 围绕中子幻数 $N = 20$, 质量数 $A = 29 \sim 44$ 间存在一个新形变区, 即所谓反常岛 (island of inversion)⁽³⁾。观察到 β 延迟 $1 \sim 4$ 个中子发射⁽⁴⁾以及 β 延迟三质子发射⁽⁵⁾等奇异衰变方

式, 以及其它一些新的核结构、核衰变现象。

与投弹碎裂产物在远离核研究方面的“辉煌成就”相比, 靶余核方面则显得黯然失色。

文献[6]中较详细报导了 GANIL 加速器运行早期 (1983~1984 年) 进行过的从靶余核产物中搜索新核素的一次认真的尝试。他们用一台质量分辨为 300 的在线同位素分离器, 离子源为工作于 1500°C 的表面电离型, 对碱金属有选择性的高效率。典型情况下靶是由 $30 \sim 50$ 片 $1\text{mg}/\text{cm}^2$ 的金属箔组成, 每靶片两边各插入 $10\text{mg}/\text{cm}^2$ 的碳箔扩散体。整个靶堆置于 1700°C 环境, 以使生成产物快速扩散。以 $>25\text{MeV}/u$ 能量的 ^{12}C 、 ^{16}O 和 ^{40}Ar 离子束轰击 Nb 靶为例, 所得 ^{75}Rb 产额约在 $100/\text{s}$ 量级。而西欧中心 CERN 的 ISOLDE 装置采用 600MeV 质子束对 ^{75}Rb 却能得到 $10^6/\text{s}$ 的产额。于是在 GANIL 得出这样的结论: 在线同位素分离与中能重离子束配合发现新核素似无希望。其理由有三:

(1) 中能时缺少如在低能重离子反应那样有效的熔合蒸发反应机制, 不能以对某些缺中子核有选择性的高截面来与高能质子散裂中使用厚达数百克的靶相竞争。

* 本工作得到国家自然科学基金及中国科学院研究基金双重支持。

(2) 类弹碎片因其高速度而无法在分离器离子源内有效电离。

(3) 类靶余核的反冲能太低，从靶中的逃逸效率低。

至今，中能重离子束与在线同位素分离器配合发现新核素方面，尚无成功的先例，或说还没有看到进一步认真尝试的报道。

兰州近物所 SSC 中能重离子加速器上配置的用于研究远离核的主要终端设备是一台在线同位素分离器和二套快化学终端。其工作对象主要是靶余核。抛开这些已建成的研究设备，而在短期内拥有比较象样的仿 GANIL 的成套研究设施根本不现实的，就是能开始建也为时太晚了，这迫使我们不得不认真考虑走从靶余核中寻找新核素这条路。这条路线虽曾受挫，但属浅尝即止的失败，对

这条路线可能性的探讨并未穹尽。如果我们能把这条路走通，则可独辟一径，形成具有我们自己特色的工作。近年来，中能重离子反应研究的进展也为我们在目标核区的选择和技术路线的设计上提供了依据。

二、靶碎片产物分布及生成机制

对中能重离子反应中靶碎片的研究是近期重离子物理学中很富吸引力的热点之一。80 年代以来已有大量系统研究工作发表^[7-11]。虽其大多数涉及探讨重离子反应机制，即从靶余核的产物分布、角分布、能量动量分布、激发能和退激过程，乃至自旋角

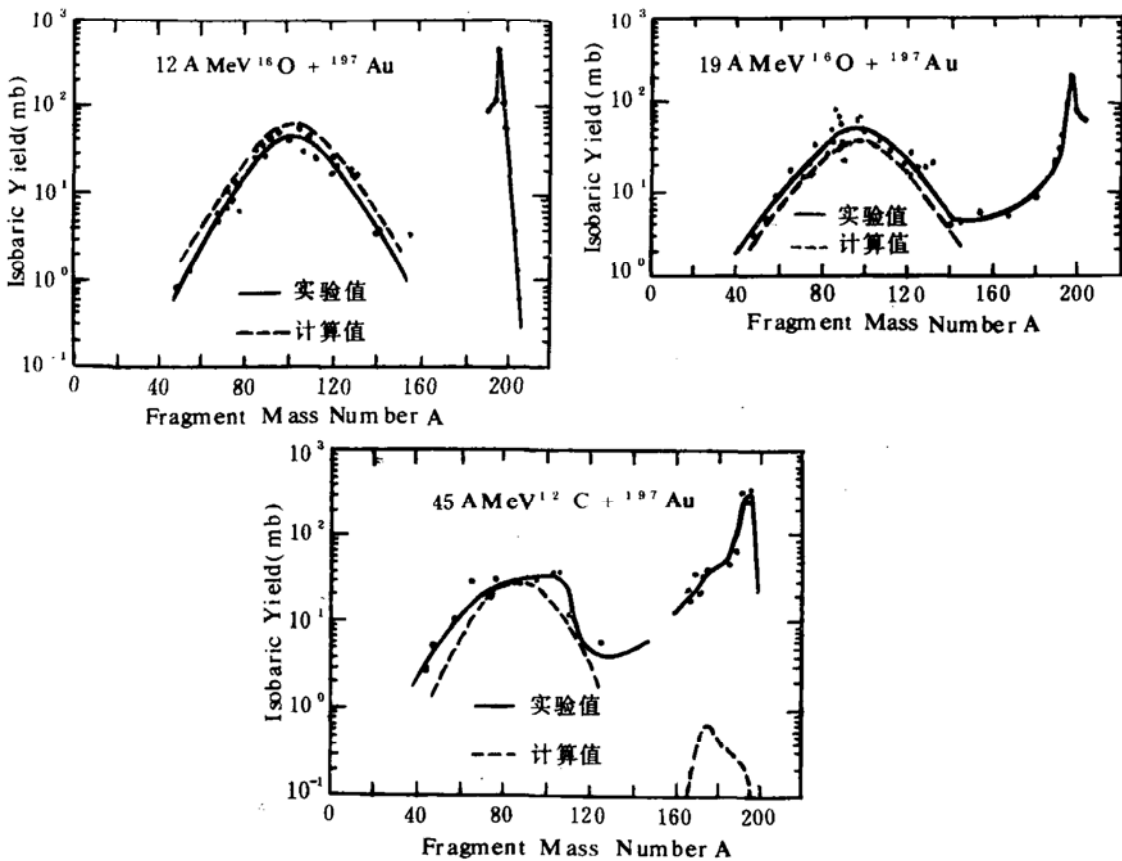


图 1 12MeV/u、19MeV/u 和 45MeV/u 的 ^{12}C 束轰击 ^{197}Au 靶的靶余核同量异位素积分产额分布，点和实线是测量结果，虚线是由 Boltzmann 主方程模型计算得到^[7]

动量分布, 以及与投弹余核的关联特性等方面, 获取核反应过程的信息, 但寻找新的合成远离 β 稳定线核素的有效机制也是其主要目标之一。

从图 1 可分析出入射粒子能量从刚刚高出库仑位垒过渡到中能区靶余核产物的变化。中能区的一大特点是近靶产物能以很高截面在质量数分布很宽的范围内生成, 而与裂变产物相对应的中等质量区的截面却降低了很多。这一特点是因为中能区周边过程截面大大超过了中心碰撞截面所致。

由于核物质可容纳最大激发能的限制以及不同碰撞距离和作用时间等因素, 靶余核产物并非都处于很高的激发状态, 而是呈现很复杂的情况。图 2 是根据能量为 1 GeV (83 MeV/u) 的 ^{12}C 束轰击 ^{238}U 靶余核在不同质量区段同量异位素分布的实验结果⁽⁸⁾推演而得, 它给出不同质量区靶余核特点的一个简明图示。图中我们将实验给出的不同质量区段同量异位素分布最可几值 Z_{mp} 与描写稳定谷核素 Z 与 A 关系的格林公式加以比较, 以便分析产物沿 β 稳定线两侧分布的总趋势。格林公式给出的稳定谷核素 Z_s 与质量数 A 关系如下:

$$Z_s = \frac{A}{1.98 + 0.015A^{2/3}} \quad (1)$$

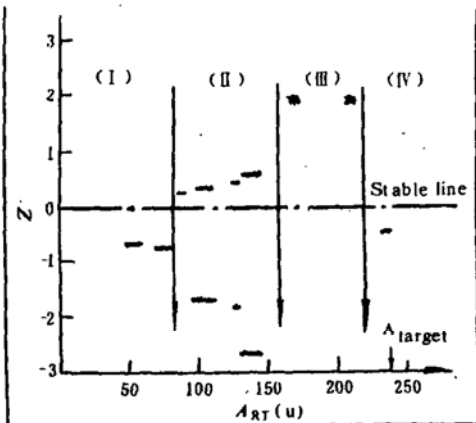


图 2 1 GeV ^{12}C 轰击 ^{238}U 靶的靶余核产物不同质量区段同量异位素最可几值与稳定谷线(见正文)的比较

图 2 纵坐标 $\Delta Z = Z_{mp} - Z_s$, $\Delta Z > 0$ 表示产物分布偏向缺中子一侧, $\Delta Z < 0$ 则表示偏向丰中子侧。根据图 2 我们可将 ^{12}C 轰击 ^{238}U 靶余核产物分成以下四个区段:

(1) $A_{RT} < 80$ 靶碎裂产物

产生于快的非平衡碎裂过程。保留对靶核丰中子特征的记忆。产物比较偏向丰中子一侧。

(2) $80 \leq A_{RT} \leq 160$ 靶裂变产物区

分为两组, 一组 $\Delta Z > 0$ 产生于类熔合过程; 另一组非常丰中子, 产生于周边碰撞的快裂变过程。

(3) $160 \leq A_{RT} \leq 220$ 深部非弹性碰撞及类熔合过程的重余核, 产物偏向非常缺中子一侧。

(4) $A_{RT} \sim A_T$ 靶附近产物

周边碰撞转移反应的重余核, 非平衡快过程。产物保留对靶核 N/Z 的记忆, 使用丰中子靶则可向丰中子一边。

三、合成新核素可利用的反应机制及目标核区选择

1. 现有几种合成手段之优势和局限性

我们是在已有多种合成新核素手段的强竞争下来探讨可能的途径, 因此选定工作核区时应充分估计到现有合成手段主要的复盖核区和潜在的拓展能力。

每种合成机制都有其优势方面也各有其局限性。如热中子诱发 ^{235}U 裂变复盖着中等质量很大一片核区, ^{252}Cf 自发裂变则在重稀土丰中子区占优势, 低质量区已被中能重离子核碎裂所占领, 而 ^{232}Th 和 ^{238}U 靶的高能质子散裂合成重核区一大批丰中子核素则是 CERN 的特色。缺中子已知边界核有一大部分是由轻带电粒子和低能重离子的熔合蒸发反应生成。但各种手段也都有其局限性。如以高能质子散裂来生成中子数超过靶核内中子

数, 质子数超过靶核质子数 1 个以上的核素几乎是不可能的(除非利用次级反应)。同样快中子(n,p)和(n,2p)反应也不可能生成原子序数高于靶原子序数的核素。低能重离子熔合蒸发反应不能用来合成丰中子核而中能重离子的投弹碎裂暂时还不能复盖到中重核区。

在考虑我们工作目标时, 应尽可能避开现有合成机制的优势核区, 最好是选在其它合成手段短时间内不易复盖到的核区较为有利。

2. 靶以下产物: 合成重核区新丰中子核素的可能性

人们早已对重离子炮弹在某些中子数较为富集的同位素靶上的奇异(或称复杂)的转移反应作了研究, 并被利用来合成靶以下元素的新丰中子核素, 如 PH. Dessagne 等人⁽¹²⁾用 72MeV 的 ^{14}C 束引起的 $^{70}\text{Zn}(^{14}\text{C}, ^{15}\text{O})^{69}\text{Ni}$ 反应, 对 ^{69}Ni 核作了首次观测, 并估算出此一过程的微分截面比 $(^{14}\text{C}, ^{16}\text{O})$ 过程小一个量级, 为几十 $\mu\text{b}/\text{sr}$, D. Drake 等人⁽¹³⁾以低能 ^{14}C 束轰击 ^{40}Ca 所做的测量是对这种奇异反应有相当高截面的又一证明。他们测得 $^{40}\text{Ca}(^{14}\text{C}, ^{15}\text{O})^{39}\text{Ar}$ 的微分截面可高达 $200\mu\text{b}/\text{sr}$, 而 $^{40}\text{Ca}(^{14}\text{C}, ^{14}\text{O})^{40}\text{Ar}$ 的截面高达 $10\mu\text{b}/\text{sr}$ 。

GSI 曾对重离子转移反应生成靶以下丰中子核素做过仔细研究。他们以 ^{136}Xe 束轰击 ^{244}Pu 靶合成了丰中子新核素 $^{243, 244}\text{Np}$ ⁽¹⁴⁾。图 3 示出他们所做的以能量 700 ~ 750MeV 的 ^{136}Xe 束轰击 ^{238}U 和 ^{244}Pu 靶(靶均厚在 700 ~ 900 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 生成的靶以下产物的截面⁽¹⁵⁾。可以看到, 尽管靶有很高的可裂变度, 但准弹性转移截面是令人惊异之高。GSI 还对这类反应的能量响应作了测量⁽¹⁶⁾, 结果如图 4 所示。

以上所涉及均为低能重离子, 扩展到中能又如何呢? 目前这方面还缺少很有说服力的数据, 这与中能下反应机制的研究还处于

U					237 135	238 T	239 93	240 10
Pa	232	233	234 10"	235	236 15	237 14	238	
Th	231	232	233	234	235	236 4		
N = 141		143		145		147		

Pu					243 115	244 T	245 103	246 12
Np	238 2.3	239 3.8	240 4.4'	241	242 9.0'			
U	237 5.9	238	239 4.6	240 4.8		242 2.5		
N = 145		147		149		151		

图 3 (a) $E_L = 700 \sim 750\text{MeV}$ 的 ^{136}Xe 在 ^{238}U 靶($\sim 700\mu\text{g}/\text{cm}^2$) 上引起反应中, 靶和靶以下元素中核素生成截面(以 mb 为单位)
(b) 与表 1. a 同, 靶子为 ^{244}Pu , 化学产额以 50% 计

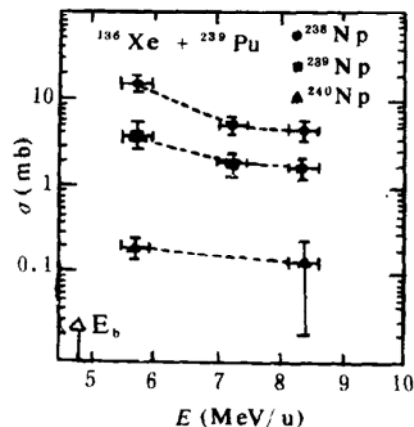


图 4 $^{136}\text{Xe} + ^{239}\text{Pu}$ 反应生成 $^{238-240}\text{Np}$ 的能量响应

考察其宏观规律阶段相关。我们从第二节的机制分析得知, 很接近靶质量的产物其电荷分布峰位偏向丰中子一侧, 这意味着初级产物的激发能不高, 显示准弹转移反应的特点。H. Bohlen 等人⁽¹⁷⁾最近就 $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, ^{12}\text{N})^{12}\text{B}$ 反应研究了这类转移反应从几 MeV/u 直到 100MeV/u 的很宽能量范围的能量响应, 并从理论上加以解释。 $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, ^{12}\text{N})^{12}\text{B}$ 反应最可能的微观过程是弹核和靶核间的 n-p 交换, 但实验结果却不能只用 n-p 交换过程解释。其

前角微分截面和积分截面的能量响应曲线(如图5所示),并不如对n-p过程理论预言的那样,先是随入射能量增加上升至~30MeV/u,达到最大值后便很快下降;而是在30MeV/u之后反而呈平缓上升的趋势。作者用在相互作用能量足够高时出现核子间的直接电荷交换核子态直接跃迁解释了高能部分反应截面的上升趋势。

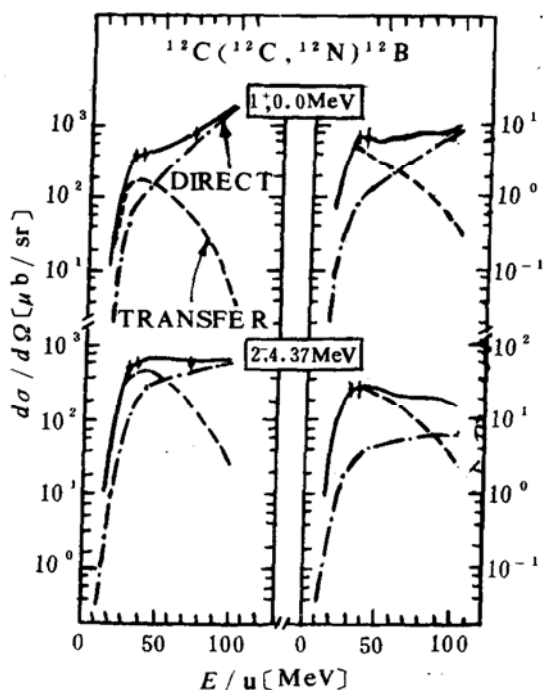


图5 $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, ^{12}\text{N})^{12}\text{B}$ 反应能量响应的实验结果和理论解释。上部是到 $^{12}\text{N} + ^{12}\text{B}$ 的基态(1^+ 态)跃迁,下部是到4.37MeV的 2^- 态跃迁。左边是角分布最大角微分截面,右边是积分截面。虚线是对n-p交换理论计算,点划线是直接核子电荷跃迁的理论计算结果,实线是二者之和,†是实验结果

以上所论述的这一类转移反应可以用来合成不能被高能质子散裂复盖的重核丰中子核区的新核素。可以作为目标核的有这样一些核: ^{208}Hg (^{208}Pb 靶,2p-2n交换或其它), ^{202}Pt (天然Hg或 ^{204}Hg 同位素靶,靶核的2p剥离或2n-2p转换)。类似的还有 ^{199}Ir 、 ^{197}Os 、 ^{191}W 、 ^{187}Ta 和 ^{185}Hf 。

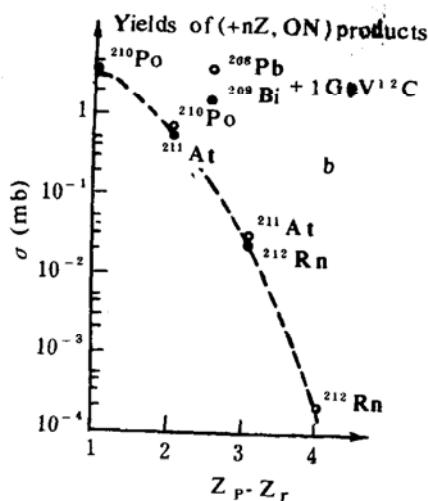
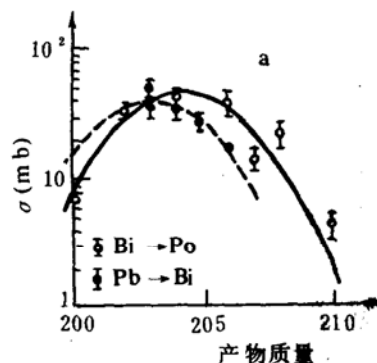


图6 a. ^{208}Pb (或 ^{209}Bi) + 86MeV/u ^{12}C 反应的增加1个质子数产物生成截面,曲线是按高斯拟合。
b. 同a,增加1至4个质子数,而不减少中子产物的截面

3. 超靶产物:中能重离子反应合成某些超铀核的可能性

中能重离子轰击重核区重靶,生成超靶产物的截面曾在D. MOLZAHN等人^[11]精心设计的实验中做过较系统的测量,结果,截面之大十分令人鼓舞(见图6)。二个靶的原子序数加1的同位素积分截面均在200mb以上,且有增加4个质子而不伴有中子数减少的反应产物。J. DUFOUR等人^[10]在他们的86MeV/u ^{12}C 离子轰击中等质量和重靶实验中也观察到了靶核可以增加三个质子而只减少3~4个中子的截面很高。如从 ^{151}Eu 靶观察到 $^{150,151}\text{Dy}$ 的生成截面分别是1.1和

2. 4mb。作者称这种过程为“冷交换”，即投弹和靶核中的中子质子直接交换而只伴随着很少的能量释放。

中能下超靶产物生成机制的证实使我们可能尝试使用²³⁵U、²³⁸U靶来合成Pu、Am、Cm几种超铀元素中的未知核素。

4. 缺中子产物

中能重离子反应靶余核初级产物的平均蒸发中子数远高于低能重离子反应。因而，中能重离子反应在靶余核中合成某些缺中子核素尚有可为。期待核可以是原子序数高于靶核的，也可能是低于靶核的。中能重离子反应以高截面形成大片缺中子核的情况可以成为对低能重离子反应仅对个别核的选择性高截面及高能质子无法向高Z方向发展的补充。目前考虑的目标有向¹⁰⁰Sn逼近及中等质量高温难熔区。

四、困难与对策

从中能重离子反应靶余核中搜索、鉴定新核素是一个新的研究方向，国际上尚无成功的先例，自然会遇到许多困难。现就已考虑到的困难和拟采用的技术措施讨论如下：

1. 低截面 — 使用厚靶和加速丰中子束

虽然，我们已讨论了多种有利的反应机制，但所涉及的还只是在低反应截面范围，大致在数百微巴至几微巴甚至更低。为此，我们首先考虑利用中能重离子穿透力远高于低能重离子的优势，采用较厚靶，以提高产额。由于我们打算利用的反应大多属于非完全熔合和转移反应，截面随入射粒子能量变化较慢。使用厚靶将会使产额与靶厚成比例增加。可使用靶厚在g/cm²量级。如50MeV/u的¹²C

表 普通重离子束与丰中子在初级反应产物中合成丰中子远离核的Q_{gg}值的比较

²⁰⁸ Pb(a, b) ²⁰⁶ Hg		²⁰⁸ Pb(a, b') ²⁰⁸ Hg ¹	
a, b	Q _{gg} (MeV) ¹	a, b'	Q _{gg} (MeV) ¹
¹² C, ¹⁴ O	-8.812	¹² C, ¹² O	-39.796
¹⁴ C, ¹⁶ O	6.952	¹⁴ C, ¹⁴ O	-12.714
¹⁶ O, ¹⁸ Ne	-10.860	¹⁶ O, ¹⁶ Ne	-36.573
¹⁸ O, ²⁰ Ne	5.456	¹⁸ O, ¹⁸ Ne	-13.828
²⁰ Ne, ²² Mg	-7.543	²⁰ Ne, ²⁰ Mg	-32.337
²² Ne, ²⁴ Mg	5.100	²² Ne, ²² Mg	-15.358
⁴⁰ Ar, ⁴² Ca	4.499	⁴⁰ Ar, ⁴⁰ Ca	-13.685
⁸⁴ Kr, ⁸⁶ Sr	1.276	⁸⁴ Kr, ⁸⁴ Sr	-9.517
⁸⁶ Kr, ⁸⁸ Sr	3.844	⁸⁶ Kr, ⁸⁶ Sr	-6.477
¹³² Xe, ¹³⁴ Ba	-1.122	¹³² Xe, ¹³² Ba	-8.859
¹³⁶ Xe, ¹³⁸ Ba	1.044	¹³⁶ Xe, ¹³⁶ Ba	-5.245

1、²⁰⁸Hg为未知核，其质量是用Garvy-Kelson公式计算的，

1、Q_{gg}计算的质量值取自1977年A. H. Wapstra给出值。

束穿过1g/cm²的铅靶后，剩余能量约27MeV/u，而目前考虑的反应机制大多在库

仑位垒附近就开始出现，故实际用靶还可再厚些。与低能重离子反应使用mg/cm²量级

靶相比,扣除束流强度因素后可利用的截面下限可低 1~2 量级。

少数核子转移反应的 Q_{gg} 响应已在低能重离子反应中得到证实⁽¹⁸⁾,尽可能利用高 Q_{gg} 反应道对截面的提高可能以数量级计。表给出使用常规束流和丰中子束合成同一种丰中子核素,其基态反应 Q 值 Q_{gg} 对比的一些实例。可以看出,使用丰中子了投弹合成丰中子核素比使用常规束流要有利的多。

2. 低反冲能——发展热扩散型靶、叠层薄靶加氦喷咀装置及跑免装置

由于靶余核产物主要产生于周边反应过程,它们的反冲能极低,反应产物大部分会阻止在靶内。我们准备以热扩散为主要手段,使

生成核从靶中扩散出来⁽¹⁸⁾。这就对靶材料的机械物理性质有较严格的要求。可用厚度在 $10\mu\text{m}$ 以下的箔靶,或颗粒直径 $\Phi < 30\mu\text{m}$ 的细粉末靶。特殊情况下,如从 Pb 中获得 Hg,可采用有高扩散系数的熔化 Pb 靶。所谓熔化靶就是利用在靶熔化温度下的靶材料蒸气压比期待核元素蒸气压低几个数量级的条件,使靶在反应发生时处于熔化状态,以便产物从表面挥发出去。最近从辐照过的铅靶,在 $750 \sim 800^\circ\text{C}$ 温度下,快速使 Hg、Tl 产物脱出的离线实验已经成功,产物几乎是百分之百的被挥发出来并由微量物 He 气流转载到一个收集器上。

(下转第 6 页)

(上接第 21 页)

到几个轨道的情况,对易子中的分母就用 $\sum(j + \frac{1}{2})$ 代替。当壳模型空间对于计算来说变得太大时,玻色子近似更加有效。

对于互作用玻色子模型(简称 IBM)的各个方面已经有大量论文。这里我仅仅指出两个方面:其一,它作为壳模型是一个近似的检验,其二是它的经验应用。

1. 检验与中子、质子(^{40}Ca 刚过的区域内, $j = 7/2$) 单壳相联系以及分别对偶、奇质量核的玻色子模型 $IBM3$ 和 $IBFM3$ 同位旋不变形式的使用。有人直接从 ^{42}Sc 核谱观测中提取的有效相互作用对 $n = 3, 4, 5, 6$ 、组态 $(7/2)^+$ 进行壳模型计算。 $n = 4$ 和 $n = 3$ 的壳模型能量和波函数分别用于明确导出玻色子玻色子相互作用和玻色子费米子相互作用。然后在玻色子框架内,用这些相互作用计算 $n = 6$ 和 $n = 5$ 的能谱,最后与精确的壳模型能谱相比较。虽然在 ^{46}Ti 的玻色子计算中,因为没有考虑 g 玻色子,第二条 4^+ 激发态不出现,但是吻合程度仍然可以说很好。假如吻合得不好,则玻色子近似的有用性就值得怀疑了。非常令人振奋的是,IBM 在壳很小而 $n/(j$

+ 1/2) 并不小的情况下也很有效。在这个检验中,玻色子相互作用不允许玻色子数改变,因为那样会引入自由参量。但通常人们希望随玻色子数 N 变化,当然这种方法吻合得更好。

2. IBM 的力量在于它对核的实际应用,其中玻色子代表了许多复杂的壳模型轨道的叠加。然而,从实验数据分离出玻色子相互作用是很困难的。这个问题与过去分离有效壳模型相互作用差不多,或更难一些。即使在仅仅带有 sd 玻色子的 $IBM1$ 、 $IBM2$ 和 $IBM3$ 中,参数的数目分别是 9、30、19,这里由于同位旋的对称性,IBM3 的参数变少了。由于 Pauli 原理的修正,人们期望有一个较强的质量依赖性。同时,玻色子空间是壳模型空间的一个子空间,有更多类型的入侵态,而在拟合时没有包括。

总之,我很乐观,对壳模型计算可以做很多改进,在这次会议上,我希望能听到这方面的进展。

[赵玉民译自《壳模型与核结构》,意大利, Capri“第二届国际春季核物理讲习班”(1988 年 5 月),新加坡世界科学出版社。顾金南校]

参 考 文 献

- [1] W. Nazarewicz and P. Olander, Nucl. Phys. A441 (1985) 420
[2] A. Bohr and B. R. Mottelson, Nuclear Structure (benjamin New York, 1975) Vol. 2
[3] W. Nazarewicz et al., Nucl. Phys. A429 (1984) 269
[4] A. Sobieczewski et al., Nucl. Phys. A485 (1988) 16
[5] J. Skalski, Phys. Lett. B238 (1990) 6
[6] W. Nazarewicz et al., Nucl. Phys. A467 (1987) 437
[7] J. Dudek et al., Phys. Lett. B248 (1990) 235
[8] P. D. Cottle, Phys. Rev. C42 (1990) 1264

- [9] G. A. Leander et al., Nucl. Phys. A388 (1982) 452
[10] F. Iachello, Nucl. Phys. A396 (1983) 233C, J. Chem. Phys. 77 (1982) 3046
[11] H. Daley and B. R. Barrett, Nucl. Phys. A449 (1986) 256
[12] M. Gai et al., Phys. Lett. B215 (1988) 242
[13] N. Schulz, Phys. Rev. Lett. 63 (1989) 2645
[14] W. Urban et al., Phys. Lett. B185 (1987) 331
[15] W. Urban et al., Phys. Lett. B200 (1988) 424
[16] P. Schuler et al., Phys. Lett. B174 (1986) 241
[17] P. Zeyen et al., Z. Phys. A328 (1987) 399

(上接第 13 页)

对于用化学分离法处理的靶,我们将发展跑兔装置与液相快化学终端配合。叠层薄靶加 He 喷咀装置与气相热色谱化学终端配合。这些设备的设计正在进行中。

3. 高温难溶——快化学方法中使用化合物靶及发展高温、高效靶离子源系统

选定的目标核中,有相当一部分是高温难熔贵金属和锕系元素。为此,在化学方法中拟通过使用化合物靶缩短溶靶时间,使可分离、鉴别的核素寿命达几十秒量级。而在线同位素分离器上,则准备发展高温高效的靶离子源系统。目前,FEBIAD 源的工作温度已达 1600℃,高温的热扩散靶系统正在设计中。

五、结束语

我国在新核素合成方面至今尚未突破零的纪录。我们立足于我国已有的一台中能重离子加速器及其附设的二台终端设备,根据国内外对中能重离子反应靶核研究的最新进展,提出开辟在靶核中合成、鉴定新核素研究方向的设想,并已开始付诸实践。这条路线在物理机制方面是成立的,技术上也是可行的。我们的目标不仅是合成少量新核素,而且要在重核区开辟出一片核区以形成自己的特色,并在 $N = 126$ 中子满壳和 $A \sim 225$ 基态八极形变区作出有价值的谱学研究结果。这是一个充满困难而又极富吸引力的工作,我

们希望国内同行能帮我们出谋划策,并热忱欢迎有志于此事业者参加进来一同工作。

参 考 文 献

- [1] R. Anne et al., A Complication on Nuclear Physics, GANIL (1983—1988) 19—21 and its references
[2] G. Audie et al., 同 1, p. 23—24
[3] E. K. Warbarton et al., Phys. Rev., C14, 1147 (1991)
[4] J. P. Dufour et al., Phys. Lett., B206, 11 (1988)
[5] V. Borrel et al., Nucl. Phys., A473, 331 (1987)
[6] M. DE Saint Simon et al., 同 1, p. 40
[7] W. D. Loveland, Nuclear Chemistry Progress Report Prepared for the U. S. Department of Energy Under Grant No. DE-FG-6-88ER 40402
[8] P. L. McGaughey et al., Phys. Rev., C31, 896 (1985)
[9] W. Loveland et al., Phys. Rev., C41, 973 (1990)
[10] J. P. Dufour et al., Nucl. Phys., A387, 157 (1982)
[11] D. Molzahn et al., J. Radioanal. Chem., 80, 109 (1983)
[12] PH. Dessagne et al., Nucl. Phys., A426, 399 (1984)
[13] D. Drake et al., Phys. Rev. Lett., Vol. 45, 1765 (1980)
[14] K. Moody et al., GSI Scientific Report, 93 (1984)
[15] A. Turler et al., 同上, p. 95
[16] R. Schmoll et al., GSI Scientific Report, 34 (1985)
[17] H. Bohlen et al., Nucl. Phys., A488, 89 (1988)
[18] H. L. Ravn, Rep., Vol. 54, No. 3 (1979)